

Lauri Suikki ja Taina Rantanen

## Sivukaltevuustunnusluku

Sivukaltevuuden parantaminen päätieverkon ylläpidon hankkeissa

Tiehallinnon selvityksiä 34/2009



Lauri Suikki ja Taina Rantanen

## **Sivukaltevuustunnusluku**

**Sivukaltevuuden parantaminen päätieverkon  
ylläpidon hankkeissa**

**Tiehallinnon selvityksiä 34/2009**



**Tiehallinto**

Helsinki 2009

*Kannen kuva: Katri Eskola (Muokannut Lauri Suikki)*

Verkojulkaisu pdf ([www.tiehallinto.fi/julkaisut](http://www.tiehallinto.fi/julkaisut))

ISSN 1459-1553

ISBN ISBN 978-952-221-282-5

TIEH 3201148-v

**TIEHALLINTO**

Keskushallinto

Opastinsilta 12 A

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0204 22 11

**Lauri Suikki ja Taina Rantanen: Sivukaltevuustunnusluku - Sivukaltevuuden parantaminen päätieverkon ylläpidon hankkeissa.** Helsinki 2009. Tiehallinto, Keskushallinto. Tiehallinnon selvityksiä 34/2009, 31 s. + liitt. 4 s. ISSN 1459-1553, ISBN 978-952-221-282-5, TIEH 3201148-v

**Asiasanat:** Kaltevuus, päällysteet, tiestömittaukset, laatuvaatimukset, mittaus  
**Aiheluokka:** 33

## TIIVISTELMÄ

Tiehallinto on linjannut sivukaltevuuden olevan yksi niistä kuntomuuttujista, jonka tuntemusta ja hyödyntämistä halutaan nykyisestä parantaa. Lattean sivukaltevuuden riskinä ovat pintakuivatuksen heikentymisen kautta syntyvät liikenneturvallisuusriskit. Tässä työssä tutkittiin sivukaltevuuden mittaamista ja hyödyntämistä. Työn keskeisin tulos on sivukaltevuustunnusluku, jota voidaan hyödyntää valta- ja kantatietasoisten teiden sivukaltevuuden parantamisessa.

Tällä hetkellä sivukaltevuutta seurataan päällystystöissä pääsääntöisesti oikolautamittauksin. Oikolautamittauksen suoritustapaa ei ole ohjeistettu riittävästi, minkä vuoksi tulokset eivät ole kaikin osin luotettavia. Tämä ei ole kannustanut tiepiirejä parantamaan sivukaltevuuksia uudelleenpäällystysten yhteydessä, ellei kohteelle tehdä rakenteenparantamista.

Sivukaltevuutta on seurattu verkkotasolla PTM-mittauksin vuodesta 2003 lähtien. Aineistoa ei ole kuitenkaan koettu tarpeeksi tarkaksi lähtötiedoksi sivukaltevuuspuutteiden parantamiselle. Tässä työssä parhaaksi sivukaltevuuden mittariksi havaittiin 20 metrin välein keskiarvoistettu regressiosivukaltevuus, jonka mittaus suoritetaan PTM-mittauskalustolla. Lisäksi tarkasteltiin mittausmenetelmän tarkkuutta sekä mittauksen toistettavuuden että eri mittaajien suhteen. Tarkastelun perusteella kaikkien PANK-hyväksytyjen PTM-mittaajien mittaustarkkuus on riittävä tunnusluvun käytön näkökulmasta. Tunnusluvun hyödyntämiselle luotiin myös perusteet, jotka tarkentuvat vasta käytännön kokemusten myötä.

Sivukaltevuustunnuslukua suositellaan pilotoitavaksi muutamalla sille soveltuvalla päällystyskohteella, ja näiden kokemusten perusteella voidaan tunnusluvun käyttöä ja sovelluskohteita tarkentaa. Jatkossa tunnusluvun toivotaan kannustavan ylemmän tieverkon vääristyneiden sivukaltevuuksien parantamiseen.



**Lauri Suikki ja Taina Rantanen: Crossfall parameter – Improvement of crossfall during pavement maintenance on arterial road network.** Helsinki 2009. Finnish Road Administration, Central Administration. Finnra reports, 31 p. + app. 4 p. ISSN 1459-1553, ISBN 978-952-221-282-5, TIEH 3201148-v

## **SUMMARY**

Finnish Road Administration (Finnra) has stated that crossfall is one of the road condition measurements which use and understanding should be improved. Flat crossfalls increases accident potentials while surface drying is poor. In this project was made a study about measuring crossfall and utilization of these measurements was made. The main result was a crossfall parameter that can be utilized in maintenance on road pavements in order to improve crossfall in arterial road network.

During maintenance operations crossfall is usually managed with screed measurements. For screed measurements there are no specifications and the measurement results can deviate a lot from each other. This situation hasn't motivated the Road Regions to put effort on maintenance of crossfall's unless there is done improvement of road structure.

Finnra has monitored crossfalls since 2003 with laser/inertial Profilograph measurements. This data haven't been detailed enough in order to use it as a data in pavement maintenance. In this project it was found that useful parameter for collecting crossfall data would be average of crossfalls that have been measured in range of twenty meters with laser/inertial Profilograph. Quality of collecting data for the crossfall parameter was also analysed and it was verified that precision and trueness was sufficient to be utilized. The use of crossfall parameter was tested and basics for the utilization were created.

Crossfall parameter is recommended to pilot in few pavement maintenance projects. These pilots should give more information to questions like, where parameter can be used and what kind of a bonus system works in what cases.

## ESIPUHE

Tieverkolla on paljon teitä, joiden sivukaltevuus ei ole vaatimusten mukaisessa kunnossa, mikä aiheuttaa muun muassa liikenneturvallisuusriskejä. Tässä tutkimuksessa määritettiin päätieverkon sivukaltevuustunnusluku, jota voidaan hyödyntää päällystystöiden yhteydessä suoritettavan sivukaltevuuden parantamisen tarkasteluihin. Tunnusluvulla voidaan arvioida sivukaltevuudeltaan puutteelliset osuudet ja tarkastella päällysteen ylläpidon toimenpiteen vaikutuksia sivukaltevuuteen. Varsinainen päätös sivukaltevuuden korjaamisesta vaatii aina maastossa tehtävän tarkastelun.

Työ on tehty Tiehallinnon keskushallinnon toimeksiannosta, josta työn projektiryhmään ovat kuuluneet:

Sami Petäjä, Tiehallinto / Asiantuntijapalvelut, puheenjohtaja  
Katri Eskola, Tiehallinto / Asiantuntijapalvelut

Työn toteutuksesta ja raportoinnista ovat vastanneet Lauri Suikki Pöyry Infra Oy:stä ja Taina Rantanen Sito Tampere Oy:stä. Lisäksi työn toteuttamiseen ovat osallistuneet Mikko Salola ja Harri Spoof (Pöyry Infra Oy) sekä Anne Kasari (Sito Tampere Oy).

Työn tekijät esittävät suuret kiitokset kaikille työtä kommentoineille palvelun tuottajille, Tiehallinnon ylläpidon suunnittelun ja hankinnan asiantuntijoille sekä aineistoa toimittaneille mittausorganisaatioille selvityksen avustamiseen uhratusta ajasta ja vaivasta. Teiltä saadut näkemykset ja kokemukset olivat avainasemassa työn onnistumisen kannalta.

Helsingissä joulukuussa 2009

Tiehallinto  
Asiantuntijapalvelut

**Sisältö**

1	JOHDANTO	11
1.1	Työn tausta	11
1.2	Työn tavoitteet	12
2	SIVUKALTEVUUSTUNNULUKU	13
2.1	Sivukaltevuusmallit ja mittaaminen	13
2.2	Sivukaltevuusmallien ja tulostusvälien erot	14
2.3	Sivukaltevuustunnusluku ylläpidon päällystyskohteissa	18
2.4	Sivukaltevuusmittauksen tarkkuus	19
3	TUNNUSLUVUN HYÖDYNTÄMINEN	24
4	TUNNUSLUVUN TULKINTA JA KÄYTTÖ	25
5	SUOSITUKSET	29
5.1	Suosituksset sivukaltevuuden mittaamiselle	29
5.2	Suosituksset sivukaltevuustunnusluvun käytölle	29
6	LÄHDELUETTELO	30
7	LIITTEET	31

## Kuvaluettelo

Kuva 1.	Oikolauta. ....	11
Kuva 2.	Sivukaltevuusmallit PTM-autolla määritetyn kaistan poikkiprofilissa. ....	14
Kuva 3.	Sivukaltevuusmallien testikohde. ....	15
Kuva 4.	Regressiomallin sivukaltevuusprofiilit eri keskiarvoistusvälein. Alin profiili on laskettu 5-metrin välein, toiseksi alin 10-metrin välein, keskimäinen 20-metrin välein, toiseksi ylin 50-metrin välein ja ylin 100-metrin välein. ....	16
Kuva 5.	Esimerkki profiili urasyvyyden vaikutuksesta regressio- ja uramallin sivukaltevuuksien eroihin. Arvot ovat 5 metrin välein keskiarvoistetusta aineistosta. ....	16
Kuva 6.	Esimerkkikuva poikkiprofiilista (urat eri syvyiset), jossa regressio- ja urasivukaltevuusmallit. ....	17
Kuva 7.	Sivukaltevuustunnusluvun valinnan vaiheet. ....	18
Kuva 8.	Mittaustarkkuuden testireitit. ....	20
Kuva 9.	Vertailumittausten mittausarvojen histogrammi. ....	21
Kuva 10.	Vertailumittausten mittaausten keskiarvot sekä keskiarvojen 95 % -luottamusvälit. ....	22
Kuva 11.	Esimerkki mittaausten sivukaltevuusprofiileista tiellä 25 tieosalla 25 paaluvälillä 2000-3000. Mittaajan D profiili poikkeaa merkittävästi muista mittaaajista. ....	23
Kuva 12.	Sivukaltevuustunnusluvun hankekohtainen hyödyntäminen. ....	24
Kuva 13.	Esimerkkikuva sivukaltevuusvaatimuksen asettamisesta sivukaltevuuden lähtötilanteen mukaan. Alun kaarre ja lopun risteysalue rajattu pois sivukaltevuuden parantamistavoitteista. ....	26
Kuva 14.	Esimerkkikuva sivukaltevuuden tarkastelusta toimenpiteen jälkeen. Alun kaarre ja lopun risteysalue rajattu pois sivukaltevuuden parantamistavoitteista. ....	27

## Taulukkoluetelo

Taulukko 1.	Testikohde. ....	15
Taulukko 2.	Testikohteen sivukaltevuusmallien mittausarvojen vaihteluväli. Arvot ovat %-yksikköjä. ....	15
Taulukko 3	Ura- ja regressiomallin sivukaltevuuksien erot testikohteella eri keskiarvoistusväleillä. Taulukossa on eri sivukaltevuusmallien keskinäisten absoluuttisten erojen suurin erotus sekä erotus, jonka 50% tai 95% havainnoista alittaa. Arvot ovat prosenttiyksikköjä. ....	17
Taulukko 4.	Vasemman ja oikean urasyvyyden erojen keskiarvot, kun regressio- ja uramallin sivukaltevuuksien ero on enemmän kuin 95% havainnoista (Sivuk ero iso) ja kun se on yhtä suuri tai vähemmän kuin 95% havainnoista (Sivuk ero pieni). Arvot ovat millimetrejä. ....	17
Taulukko 5.	Mittaustarkkuuden testireitti. ....	19
Taulukko 6.	Sivukaltevuusmittausten vertailtavuus ja toistettavuus. Taulukossa on mittausten välinen erotusten itseisarvo, jonka 95 % havainnoista alittaa. Tummennettujen solujen arvot ovat toistomittausten tuloksia. Arvot ovat prosenttiyksiköitä. ....	21
Taulukko 7.	Sivukaltevuusmittausten vertailtavuus ja toistettavuus. Taulukossa on mittausten välinen erotusten itseisarvo,	



---

	jonka 50 % havainnoista alittaa. Tummennettujen solujen arvot ovat toistomittausten tuloksia. Arvot ovat prosenttiyksiköitä. ....	21
Taulukko 8.	Mittaajien vertailu- ja toistomittausten korrelaatiot. Tummennettujen solujen arvot ovat toistomittausten tuloksia. ....	22
Taulukko 9.	Sivukaltevuuden tavoitearvot /5/. ....	25
Taulukko 10.	Esimerkki sivukaltevuusaineiston käsittelystä toimenpiteen vaikutusten arvioimiseksi. ....	28

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Työn tausta

Teiden sivukaltevuus vaikuttaa tien pintakuivatukseen ja sitä kautta liikenneturvallisuuteen. Liian pienen sivukaltevuuden seurauksena pintavedet jäävät tien pinnalle, mikä johtaa vesiliirron ja ilman kylmetessä mustan jään syntymisen riskin kasvamiseen. Liian suuri tai vääränsuuntainen sivukaltevuus puolestaan voi heikentää tien ajogeometriaa ja aiheuttaa mm. liikenneturvallisuutta vaarantavia ajolinjojen vaihteluja tai tieltä suistumisia. Nämä ongelmat ovat pääteillä kuitenkin harvinaisempia.

Vääristynyttä sivukaltevuutta voidaan korjata rakenteenparantamis- ja päällystystoimenpiteiden yhteydessä. Tällä hetkellä sivukaltevuutta seurataan ylläpidon töissä pääsääntöisesti oikolautamittauksen avulla, jonka toteutustapaa ei ole määritelty. Suoritustavaltaan määrittelemättömässä "yleiskaltevuusmittauksessa" voidaan saada hyvinkin toisistaan poikkeavia arvoja, erityisesti, jos kaistan pinta on kupera. Myös sivukaltevuuden laatutarkkailu raportoidaan oikolautamittausten avulla ja tämä ei ole kannustanut Tiepiirejä korjaamaan vääristyneitä kaltevuuksia. Lisäksi PTM -mittauksissa kerätty data on koettu hankalaksi muuttaa tarvittavaksi lähtö- ja toimenpiteen toteumatiedoksi.

Sivukaltevuutta on mitattu systemaattisesti vuodesta 2003 lähtien PTM-mittauskalustolla. Verkkotasonmittauksissa sivukaltevuustarkastelut tehdään 50 metrin matkalla mitatun sivukaltevuuden keskiarvosta. Päällysteiden ylläpidon toimintalinjoissa (2006) arvioitiin sivukaltevuuspuutteita olevan tieverkolla 4200 km, joista vakavia on noin 2500 km. Näistä sivukaltevuuspuutteista arvioidaan olevan valta- ja kantateillä yhteensä 480 kilometriä /1/.



Kuva 1. Oikolauta.

## 1.2 Työn tavoitteet

Tämän työn tavoitteena on kehittää sivukaltevuustunnusluku päätieverkon päällysteiden ylläpidon toimenpiteitä varten. Tunnusluvulla pystytään kuvaamaan sivukaltevuuden lähtötilanne ja arvioimaan toimenpiteiden vaikutus sivukaltevuuteen. Lisäksi luodaan periaatteet tunnusluvun hyödyntämiselle.

Työn tulosten toivotaan kannustavan tieverkon ylläpidosta vastaavia paneutumaan sivukaltevuuspuutteisiin nykyistä enemmän. Lisäksi kaltevuutta parantavien toimenpiteiden määrän kysynnän lisääntyessä toivotaan urakoitsijoiden kehittävän omia työtekniikoitaan.

Tunnusluvun tavoitteena on olla helppokäyttöinen ylläpidon suunnittelun ja hankinnan työkalu, jota voidaan hyödyntää ilman merkittäviä panostuksia toimenpiteiden suunnitteluun. Olennaista on myös se, että tunnusluku luo yhteisen toimintamallin sivukaltevuuden kuvaamiselle ja toimenpiteiden onnistumisen arvioimiselle.

## 2 SIVUKALTEVUUSTUNNULUKU

### 2.1 Sivukaltevuusmallit ja mittaaminen

Sivukaltevuudella tarkoitetaan ajoradan ja pientareen pinnan kaltevuutta tienlinjaa vastaan kohtisuorassa tasossa. Tienpinta suunnitellaan viettäväksi kuivatus- ja ajogeometrisistä näkökulmista. /2/ Päälysteiden ylläpidon hankkeissa seurataan ja raportoidaan ajoradan sivukaltevuutta kaistoittain. Verkkotasolla sivukaltevuutta seurataan yksiajorataisilta teillä vain toiselta kaistalta.

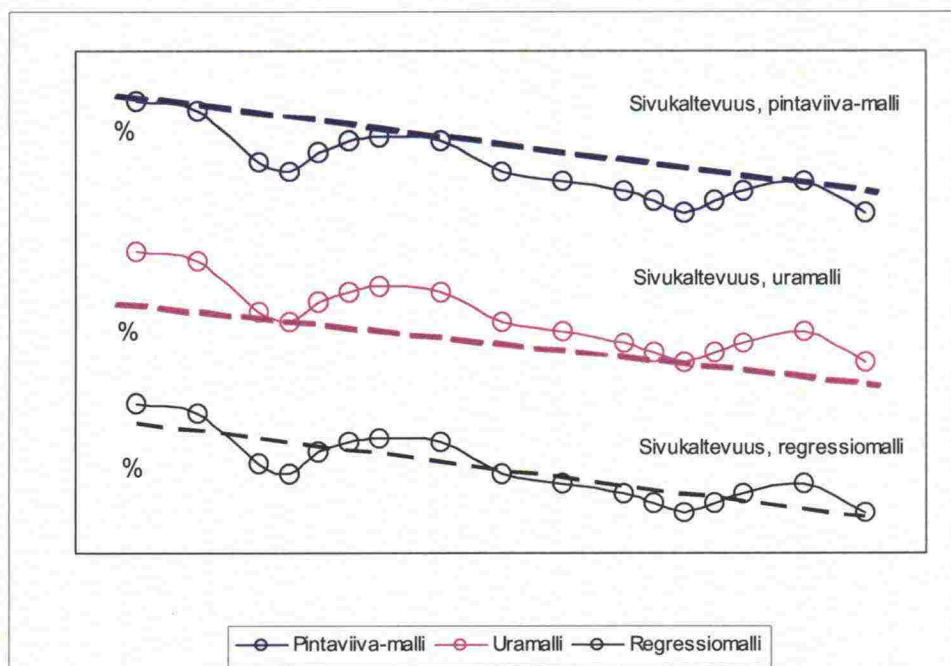
Ylläpidon hankkeissa sivukaltevuutta on pääsääntöisesti seurattu ja raportoitu oikolautamittausten avulla. Oikolaudan avulla pyritään kuvaamaan kaistan pintaviivan (pintaviiva-malli) poikkisuuntaista kaltevuutta pistekohtaisesti määrätyn matkan välein. Jos kaistan poikkileikkaus on kupera, on sivukaltevuuden määrittäminen oikolaudalla mahdotonta. Myös verkkotasolla on seurattu PTM-autolla määritettyä pintaviivan sivukaltevuutta, mutta tunnusluvun käytöstä on luovuttu.

Verkkotasolla sivukaltevuutta seurataan PTM-autolla mitattavan regressiosivukaltevuuden avulla (regressiomalli). PTM-auto laskee keskimääräisen tienpinnan korkeuden 10 senttimetrin välein jokaiselle laserpisteelle. Tätä lukemaa käytetään poikittaisparametrien laskennan perustana. Regressiosivukaltevuus lasketaan vähintään 17 poikkiprofiilipisteen kautta määrittelynä regressiona. Pisteiden välille lasketaan pienimmän neliösumman menetelmällä regressiosuora, jota verrataan vaakasuoraan tasoon ja lasketaan sivukaltevuusprosentti /3/. Tunnusluku raportoidaan pituussuuntaisen määritelmän välein keskiarvoistettuina tai yksittäisinä arvoina. Verkkotason mittauksissa käytetään 50 metrin keskiarvoistusväliä.

Uranpohjien kautta määritettyä sivukaltevuutta on käytetty tunnuslukuna mm. Ruotsissa liikenneturvallisuusselvityksissä. Uranpohjien kautta määritetyn sivukaltevuuden oletetaan kuvaavan parhaiten tienkäyttäjän kokemaa poikittaista kaltevuutta ja sitä kautta tien ajogeometriaan vaikuttavaa sivukaltevuutta. /4/

Pintaviiva-, ura- ja regressiomallin mukaiset sivukaltevuusmallit ovat esitetyinä kuvassa 2. Mallit ovat esitetty PTM-auton laserien mittaamasta poikkiprofiilista johdettuina.



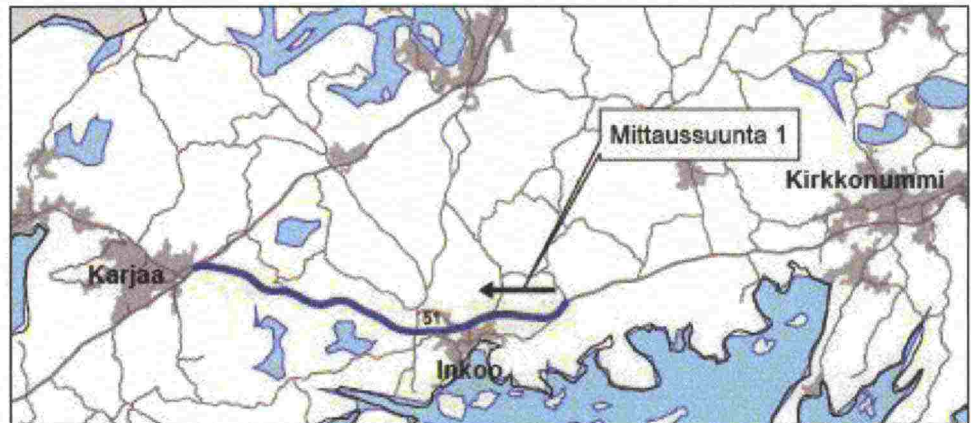


Kuva 2. Sivukaltevuusmallit PTM-autolla määritetyn kaistan poikkiprofiilissa.

## 2.2 Sivukaltevuusmallien ja tulostusvälien erot

PTM-autolla mitattavan ura- ja regressiosivukaltevuuden käytettävyyttä hankekohtaisen sivukaltevuuden mittaamiseen arvioitiin testimittauksin, jossa tarkasteltiin sivukaltevuusmalleja eri tulostusvälein. Aineistoa tarkasteltiin 5-, 10-, 20-, 50-, ja 100-metrin välein keskiarvoistettuina. Mittauksissa testattiin regressio- ja urasivukaltevuusmallit. Pintaviiva-mallia ei testattu, koska sen käytöstä on luovuttu jo aiemmin.

Sivukaltevuusmallien ja eri tulostusvälien testaaminen suoritettiin tiellä 51 tieosilla 13-16 suuntaan 1. Kohteen liikennemäärä on 5223-7173 ajoneuvoa vuorokaudessa. Testikohde on esitettyä kuvassa 3 ja testikohteen tiedot taulukossa 1. Testikohteen pituus oli noin 23 kilometriä. Testikohteeksi haettiin tiejaksoa, jolla olisi paljon erilaisia kaltevuuksia ja kaltevuuden muutoskohtia ja lisäksi se olisi valta- tai kantatietasoinen. Testimittaukset suoritti Destia Solutions Oy.



Kuva 3. Sivukaltevuusmallien testikohde.

Taulukko 1. Testikohde

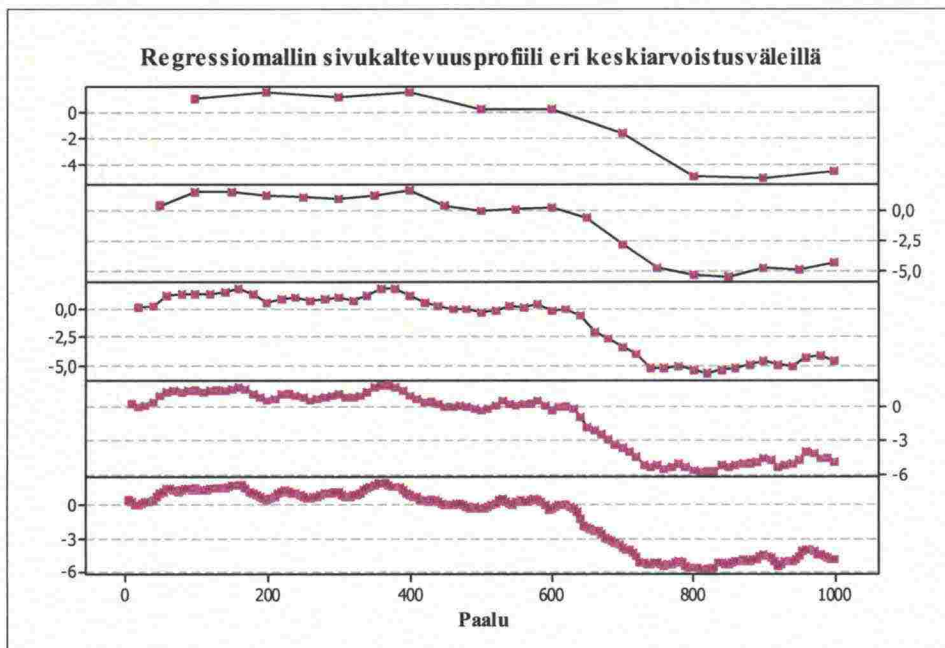
Tie	Tieosa	Suunta	Päällyste	TP vuosi	Pituus (m)
51	13	1	AB	2001/2004	6214
51	14	1	AB	2001/2004	3115
51	15	1	SMA	1994	8070
51	16	1	SMA	1994/2006	5895
Yht.					23294

Taulukossa 2 on esitetty testikohteen sivukaltevuuksien arvojen vaihteluvälit. Taulukosta voidaan havaita arvoalueen jakauma kasvavan keskiarvoistusvälin pienetessä. Keskiarvoistaminen pienentää keskiarvoistamisvälillä olevien pienien "heittojen" vaikutusta raportoituun sivukaltevuuteen.

Taulukko 2. Testikohteen sivukaltevuusmallien mittausarvojen vaihteluväli. Arvot ovat %-yksikköjä.

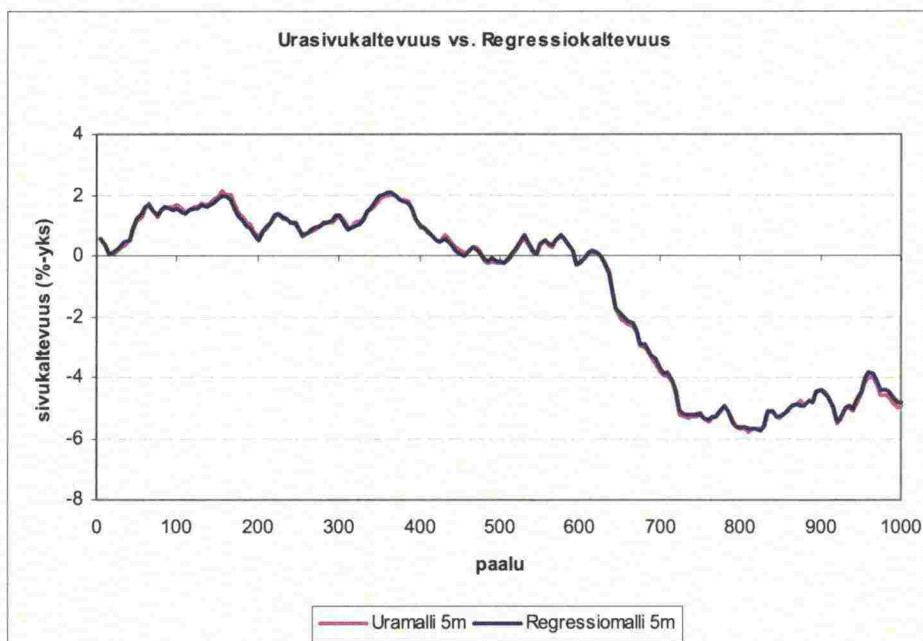
	Regressiosivukaltevuus	Uran pohja sivukaltevuus
100m aineisto	2,61 ... - 5,66	2,57 ... -5,85
50m aineisto	2,77 ... -5,82	2,96 ... -6,05
20m aineisto	3,18 ... -5,99	3,17 ... -6,22
10m aineisto	3,20 ... -6,10	3,40 ... -6,31
5m aineisto	3,28 ... -6,28	3,44 ... -6,36

Kuvassa 4 on esitetty esimerkki regressiomallin sivukaltevuusprofiileista eri keskiarvoistusvälein (tie 51 1/0-1/1000). 5-, 10-, ja 20- metrin keskiarvoistusvälit kuvaavat pienipiirteisesti poikkiprofiilin muutoksia. 20-metrin välein keskiarvoistaminen vähentää jonkin verran aivan pienimpiä muutoksia. Sivukaltevuuden keskiarvoistaminen 50- ja 100-metrin välein oikoo profiilia merkittävästi eikä kuvaa riittävällä tarkkuudella sivukaltevuutta ylläpidon toimenpiteiden näkökulmasta.



Kuva 4. Regressiomallin sivukaltevuusprofiilit eri keskiarvoistusvälein. Alin profiili on laskettu 5-metrin välein, toiseksi alin 10-metrin välein, keskimääräinen 20-metrin välein, toiseksi ylin 50-metrin välein ja ylin 100-metrin välein.

Kuvassa 5 on esitetty ura- ja regressiomallin sivukaltevuusprofiilien esimerkki 5-metrin raportointivälillä (tie 51 1/0-1/1000). Profiilit eivät eroa juurikaan toisistaan edes yksittäisten "heittojen" osalta. Taulukossa 3 on esitettyinä ura- ja regressiomallin erot testikohteella.



Kuva 5. Esimerkkiprofiili urasyvyyden vaikutuksesta regressio- ja uramallin sivukaltevuuksien eroihin. Arvot ovat 5 metrin välein keskiarvoistetusta aineistosta.



Taulukko 3 Ura- ja regressiomallin sivukaltevuuksien erot testikohteella eri keskiarvoistusväleillä. Taulukossa on eri sivukaltevuusmallien keskinäisten absoluuttisten erojen suurin erotus sekä erotus, jonka 50% tai 95% havainnoista alittaa. Arvot ovat prosenttiyksiköjä.

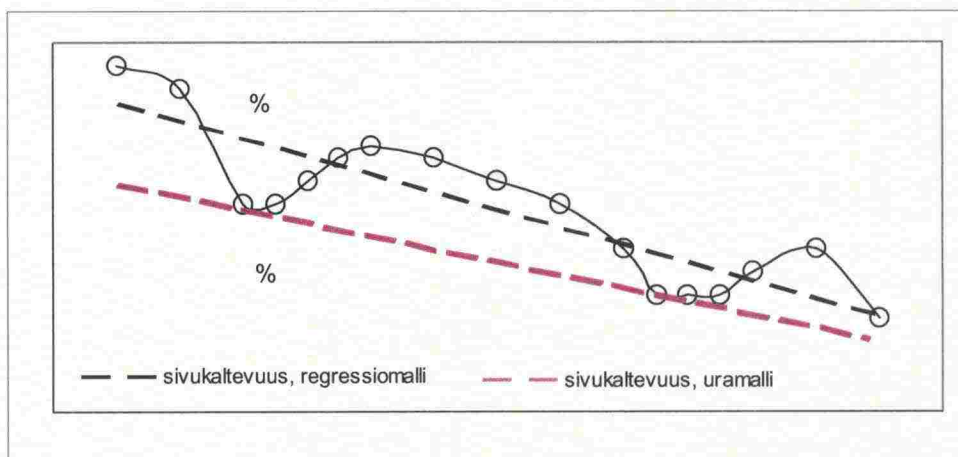
	100m aineisto	50m aineisto	20m aineisto	10m aineisto	5m aineisto
MAX	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7
95%	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
50%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Taulukossa 4 on vasemman ja oikean uran syvyyden keskimääräinen ero, jos regressio- ja uramallin mukaisen sivukaltevuuden ero on suuri. Sivukaltevuusmallien ero on ryhmässä iso, jos se on suurempi kuin 95% havainnoista (vrt. Taulukko 3). Muiden havaintojen määrä on ryhmässä pieni.

Taulukko 4. Vasemman ja oikean urasyvyyden erojen keskiarvot, kun regressio- ja uramallin sivukaltevuuksien ero on enemmän kuin 95% havainnoista (Sivuk ero iso) ja kun se on yhtä suuri tai vähemmän kuin 95% havainnoista (Sivuk ero pieni). Arvot ovat millimetrejä.

	Sivuk ero iso. Urien eron KA	Sivuk ero pieni. Urien eron KA
5m	1.3	1.1
10m	1.2	1.1
20m	1.4	1.1
50m	1.4	1.0
100m	0.9	1.0

Taulukon 4 perusteella voidaan havaita, että uramallin sivukaltevuuden ero on keskimäärin suuri regressiosivukaltevuuden kanssa, kun pisteen vasemman ja oikean urasyvyyden ero on suuri. Kuvassa 6 on esimerkkikuva siitä, miten ajourien syvyys vaikuttaa sivukaltevuusmalleihin ja niiden arvoihin. Regressiosivukaltevuus tasaa poikkiprofiilin pinnan yksittäisiä poikkeavia arvoja ja kuvaa uramallia paremmin todellisen poikkiprofiilin sivukaltevuutta.

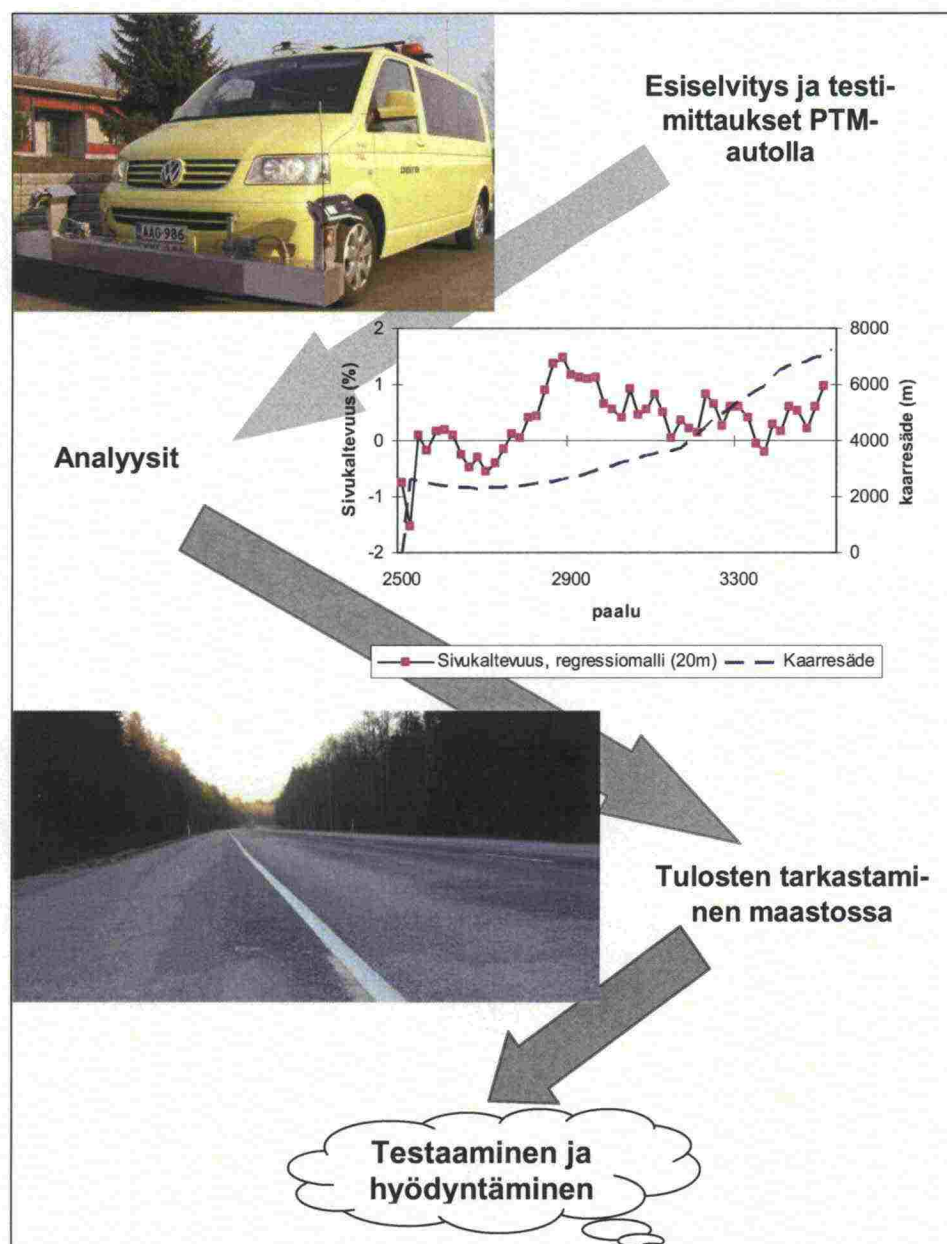


Kuva 6. Esimerkkikuva poikkiprofiilista (urat eri syvyiset), jossa regressio- ja urasivukaltevuusmallit.



### 2.3 Sivukaltevuustunnusluku ylläpidon päällystyskohteissa

Päällysteiden ylläpidon hankkeiden sivukaltevuustunnuslukua määrittäessä esiselvityksen avulla määriteltiin urakoitsijoiden ja tilaajan tarpeita vääristyneiden sivukaltevuuksien korjaamisen edistämiseksi. Esiselvityksessä nousseiden asioiden perusteella suunniteltiin PTM-autolla toteutetut testimitaukset, joiden tulosten avulla tarkasteltiin sivukaltevuusmalleja ja niiden raportointivälejä. Lisäksi testikohteella tehtiin maastokäynti, jossa vertailtiin mittaustuloksien yhtenevyyttä silmämääräisiin havaintoihin. Vertailun perusteella päätettiin sivukaltevuustunnusluku päällysteiden ylläpidon hankkeita varten, jonka mittaamista testattiin muutamalla vuoden 2009 päällystyskohteella.



Kuva 7. Sivukaltevuustunnusluvun valinnan vaiheet.

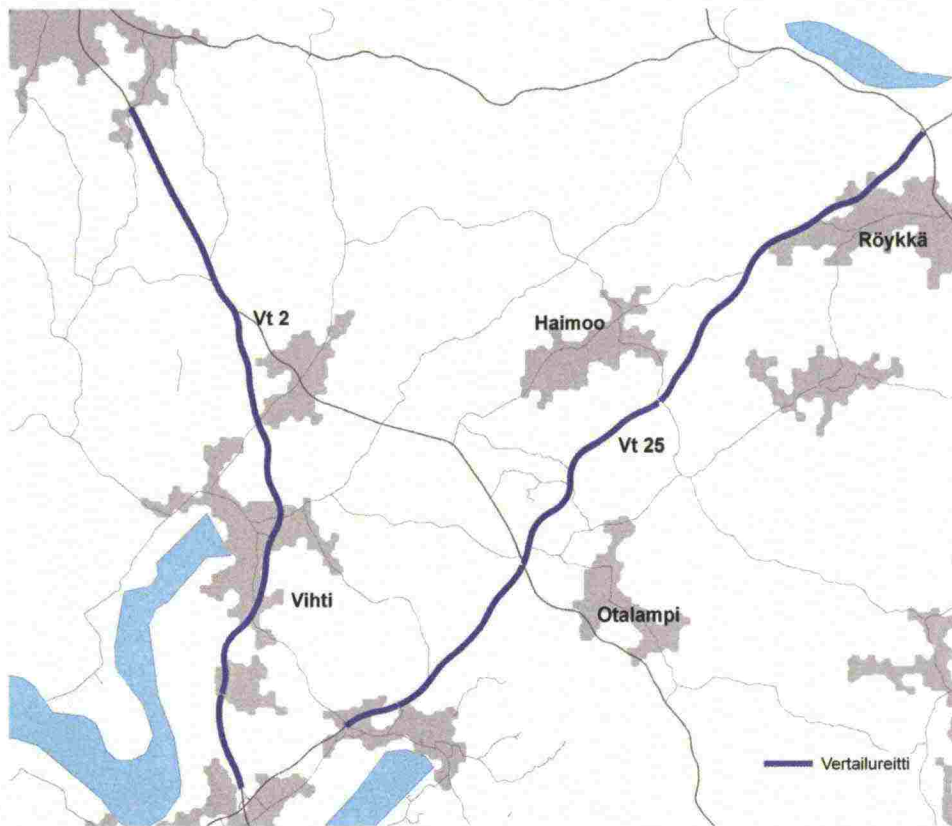
- Regressiosivukaltevuutta on mitattu ja seurattu vuodesta 2003 lähtien, joten se on tunnettu sivukaltevuuden mittari
- 20m keskiarvoistusväli kuvaa riittävällä tarkkuudella todellista sivukaltevuutta, mutta siihen eivät vaikuta kaikista pienimmät poikittaisheitot, mikä helpottaa toimenpiteiden vaikutusten arviointia
- Mittarin mittaustarkkuus todettiin hyväksi ja mittauservot olivat yhteisiä maastotarkastelujen kanssa
- PTM-mittaus mahdollistaa sen, että mittausaineistosta voidaan laskea eri keskiarvoistusväleillä sivukaltevuuksien keskiarvoja, joten esimerkiksi jos urakoitsija haluaa käyttää jotakin muuta väliä, se on täysin mahdollista

Sivukaltevuuden mittaustarkkuutta testattiin PANK ry:n ”Palvelutasomittausten PANK-testi 2009” yhteydessä. Testin läpäisi hyväksyttävästi kaikkien tarkasteltavien tunnuslukujen osalta 3 PTM-mittausorganisaatiota, mikä on myös edellytys PANK hyväksynnälle: Andament Oy (Mittaja A), Destia Oy Solutions (Mittaja B), Ramboll Oy (Mittaja C). Näiden lisäksi sivukaltevuuden testimittauksiin osallistui Road Consulting Oy (Mittaja D). Tarkasteltavana tunnuslukuna oli sivukaltevuustunnusluku, eli 20m välein keskiarvoistettu regressiosivukaltevuus.

**Taulukko 5. Mittaustarkkuuden testireitti.**

Tiepiiri	Tie	Ajorata	Mittaussuunta	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	Pituus
1	25	0	1	1	24	4000	24	5407	1407
1	25	0	1	1	25	0	25	4746	4746
1	25	0	1	1	26	0	26	5650	5650
1	25	0	1	1	27	0	27	3901	3901
1	25	0	1	1	28	0	28	5795	5795
1	25	0	2	1	24	4000	24	5407	1407
1	25	0	2	1	25	0	25	4746	4746
1	25	0	2	1	26	0	26	5650	5650
1	25	0	2	1	27	0	27	3901	3901
1	25	0	2	1	28	0	28	5795	5795
1	2	0	1	1	3	500	3	2978	2478
1	2	0	1	1	4	0	4	4207	4207
1	2	0	1	1	5	0	5	6884	6884
1	2	0	1	1	12	0	12	4783	4783
							Yht (m)	61350	



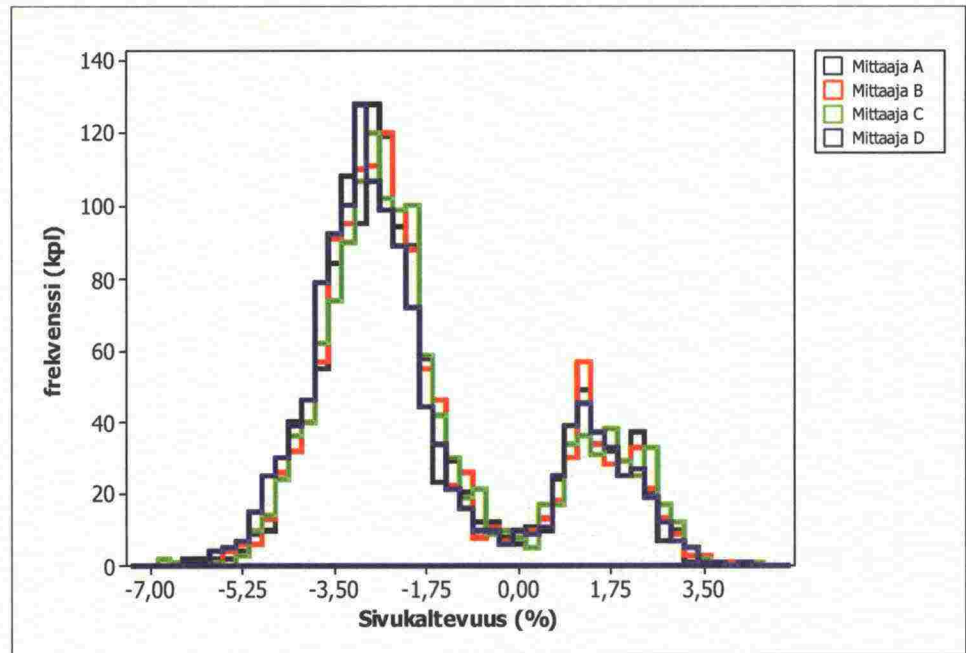


Kuva 8. Mittaustarkkuuden testireitit.

Analysoitavina tekijöinä olivat mittausten *vertailtavuus* ja *toistettavuus*. Vertailtavuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä eri mittausorganisaatioiden tulosten yhdenmukaisuuden tutkimista. Vertailtavuuden analysoinnilla tarkastellaan eri mittausorganisaatioiden ja laitteiden mittaustulosten yhdenmukaisuutta sekä sitä, että kuinka tarkasti regressiosivukaltevuus pystytään määrittämään. Toistettavuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä saman mittausorganisaation kahteen kertaan mitattujen tulosten yhdenmukaisuuden tutkimista. Toistettavuuden analyyseillä voidaan tarkastella mittalaitteen tulosten hajontaa, sekä mittajaan oman toiminnan vaikutusta toistomittausten arvoihin. Toistettavuudella tarkastellaan mittaustarkkuutta.

Mittausaineistot analysoitiin tutkimalla mittausten absoluuttisten erojen itseisarvoja ja niiden prosenttipisteitä. Prosenttipiste on kohta, joka rajaa alapuolelleen tietyn prosenttimäärän havaintoja, eli tässä aineistossa prosenttipiste ilmoittaa kuinka suuren virheen sisään tietyn prosenttimäärän havaintojen erot mahtuvat. Prosenttipisteiden lisäksi tutkittiin muuttujien välisiä riippuvuuksia eli korrelaatioita.

Kuvassa 9 on esitetty vertailumittausten sivukaltevuuksien jakaumakuva. Testireitin sivukaltevuudet ovat olleet välillä -6,88...4,54. Taulukoissa 6 ja 7 on esitetty vertailu ja toistomittausten prosenttipisteet sekä taulukossa 8 korrelaatiot. Näiden analyysien avulla on tutkittu regressiosivukaltevuuden määrittämisen tarkkuutta sekä mittaustarkkuutta.



Kuva 9. Vertailumittausten mittausarvojen histogrammi.

Taulukko 6. Sivukaltevuusmittausten vertailtavuus ja toistettavuus. Taulukossa on mittausten välinen erotusten itseisarvo, jonka 95 % havainnoista alittaa. Tummennettujen solujen arvot ovat toistomittausten tuloksia. Arvot ovat prosenttiyksiköitä.

	PANK-hyväksytyt mittajaajat			
95%-piste	Mittaaja A	Mittaaja B	Mittaaja C	Mittaaja D
Mittaaja A	0.51	0.78	0.96	2.04
Mittaaja B	0.78	0.11	1.04	2.05
Mittaaja C	0.96	1.04	0.64	1.89
Mittaaja D	2.04	2.05	1.89	1.60

Taulukko 7. Sivukaltevuusmittausten vertailtavuus ja toistettavuus. Taulukossa on mittausten välinen erotusten itseisarvo, jonka 50 % havainnoista alittaa. Tummennettujen solujen arvot ovat toistomittausten tuloksia. Arvot ovat prosenttiyksiköitä.

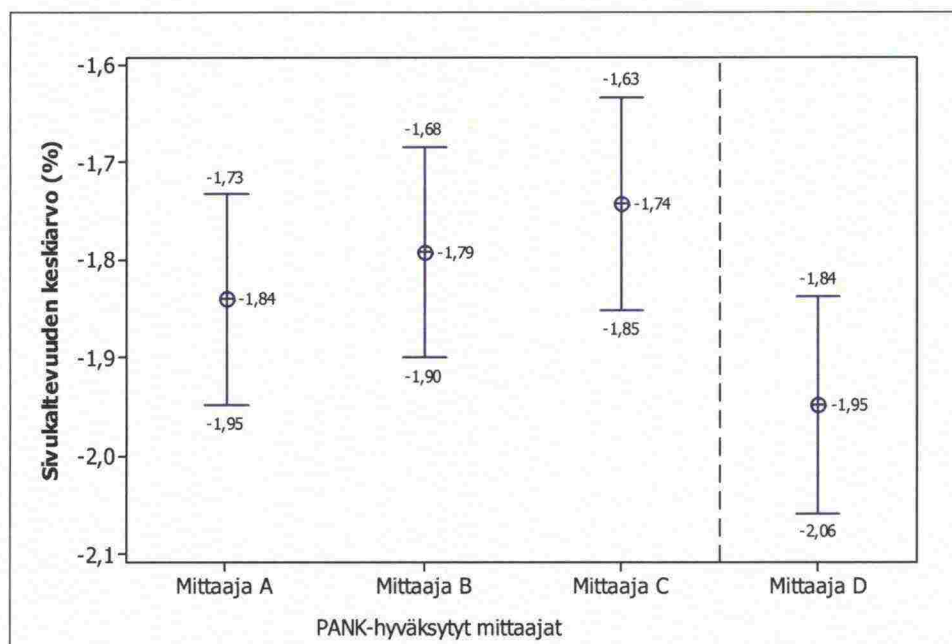
	PANK-hyväksytyt mittajaajat			
50%-piste	Mittaaja A	Mittaaja B	Mittaaja C	Mittaaja D
Mittaaja A	0.03	0.14	0.28	0.52
Mittaaja B	0.14	0.03	0.27	0.51
Mittaaja C	0.28	0.27	0.19	0.49
Mittaaja D	0.52	0.51	0.49	0.30



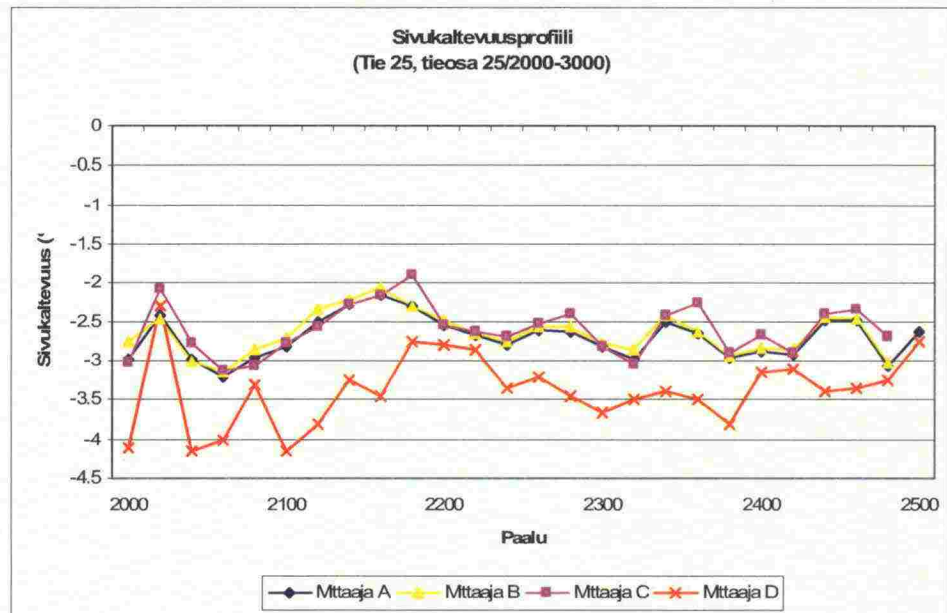
Taulukko 8. Mittaajien vertailu- ja toistomittausten korrelaatiot. Tummennettujen solujen arvot ovat toistomittausten tuloksia.

	PANK-hyväksytyt mittaajat			
Korrelaatio	Mittaaja A	Mittaaja B	Mittaaja C	Mittaaja D
Mittaaja A	0.99	0.98	0.97	0.88
Mittaaja B	0.98	1.00	0.96	0.87
Mittaaja C	0.97	0.96	0.99	0.90
Mittaaja D	0.88	0.87	0.90	0.94

Mittaustarkkuuden analyysien perusteella osa mittaajien tuloksista on hyvin lähellä, mutta osa saattaa poiketa muiden mittaajien tuloksista merkittävästi. Tämän perusteella mittaustarkkuus määrittyy mittaajien perusteella, joiden mittaustulokset ovat riittävän yhteneviä. Edellä esitettyjen analyysien perusteella Mittaajat A, B ja C muodostavat osajoukon, joiden havaintojen perusteella mittaustarkkuus määritellään. Mittaaja D:n tulosten poikkeavuuden voi havaita myös kuvista 10 ja 11.



Kuva 10. Vertailumittausten mittaajien keskiarvot sekä keskiarvojen 95 % - luottamusvälit.



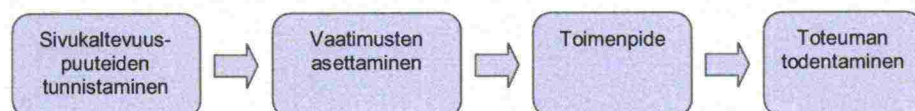
Kuva 11. Esimerkki mittajien sivukaltevuusprofiileista tiellä 25 tieosalla 25 paaluvälillä 2000-3000. Mittajan D profiili poikkeaa merkittävästi muista mittajista.

Sivukaltevuuden määrittäminen ja mittauksen tarkkuus riippuu myös tien ominaisuuksista. Sivukaltevuustunnusluku on tarkoitettu valta- ja kantatietasoisille teille, joissa kaistan leveys on vähintään 3,5 metriä. Tämän vuoksi tässä raportissa esitetty määrittäminen ja mittauksen tarkkuus ei päde muunlaisilla teillä.

Analyysien perusteella PTM-mittaukseen, joilla on lupa suorittaa uusien päällysteiden laadunvalvontamittauksia (PANK-hyväksyntä), mittauksen tarkkuus on riittävä sivukaltevuuden mittaamiseen tunnusluvun hyödyntämisen näkökulmasta.

### 3 TUNNUSLUVUN HYÖDYNTÄMINEN

Kuvassa 12 on esitetty sivukaltevuusmittausten hyödyntäminen ylläpidon päällystyshankkeissa. Hyödyntäminen jakaantuu neljään eri vaiheeseen.



Kuva 12. Sivukaltevuustunnusluvun hankekohtainen hyödyntäminen.

1. *Sivukaltevuuspuutteiden tunnistaminen.* Sivukaltevuuspuutteet ilmenevät usein parhaiten kuivatuspuutteina, joiden sijainnista voidaan saada tietoa esimerkiksi aluevastaavilta tai alueurakoitsijoilta. Lisäksi kohteiden tunnistamisessa voidaan hyödyntää verkkotason PTM-mittausten 10m aineistoa. Aineisto on yksiajorataisilta teiltä vain toiselta kaistalta, mutta ongelma usein heijastuu ajoradan molemmille kaistoille ja näin ollen ne voidaan havaita yhden kaistan aineistosta.
2. *Vaatimusten asettaminen.* Päällysteiden ylläpidon kohteilta valitaan yhtenäisiä jaksoja, joiden sivukaltevuutta yritetään parantaa. Tavoiteltu sivukaltevuus on suunnitteluohjeiden mukainen sivukaltevuusvaatimus  $\pm 1$  %-yksikköä. Tavoitellusta sivukaltevuudesta voidaan poiketa niiltä osin, jossa sivukaltevuuden ero on suuri sallitun sivukaltevuuden vaihtelurajaan. Tämä raja määritellään erikseen hankekohdaisesti. Sivukaltevuuden lähtötilanteen mittaustulokset ja tavoiteltu sivukaltevuus annetaan urakoitsijalle tiedoksi ennen toimenpiteen toteuttamista.
3. *Toimenpide.* Tilaaja määrittelee kohteen toimenpiteen kohteen kilpailutusvaiheessa. Toimenpide valitaan niin, että sillä on mahdollista parantaa sivukaltevuutta (esim. MPKJ, TASK+LTA). Palvelun tuottaja vastaa toimenpiteen toteuttamisen tarkemmasta suunnittelusta. Sivukaltevuuden lähtötilanne ja tavoitearvot annetaan palvelun tuottajalle tiedoksi ennen toimenpiteen toteuttamista.
4. *Toteuman todentaminen.* Sivukaltevuus mitataan uusien päällysteiden laadunvalvontamittausten yhteydessä. Toimenpiteen jälkeistä sivukaltevuutta verrataan lähtötilanteen sivukaltevuuteen ja annettuihin tavoitearvoihin.



## 4 TUNNUSLUVUN TULKINTA JA KÄYTTÖ

Sivukaltevuudelle ei ole asetettu virallisia ylläpidon tavoiterajoja. Tiehallinnon 'Ura- ja sivukaltevuustunnusluvun määrittäminen kuntovastuu-urakkaan'-hankkeessa määriteltiin Tien suuntauksen suunnittelu-ohjeeseen perustuvat tavoitesivukaltevuudet. Tavoite-arvot perustuvat kaarresädeluokkiin, joiden ohjeen vähimmäisarvojen sivukaltevuuden vaatimuseroille on annettu keskimäärin  $\pm 1$  %-yksikön toleranssi /5/. Sivukaltevuuden tavoitearvot on esitetty taulukossa 9. Tavoitearvot voivat olla tapauskohtaisesti myös esitetyjä tiukemmat. Tavoitearvoon vaikuttaa tien pituuskaltevuus: pienillä pituuskaltevuusarvoilla tavoitearvoa noudatetaan tiukemmin.

Taulukko 9. Sivukaltevuuden tavoitearvot /5/.

nopeus (km/h)	R (m) Kaarresäde	Sisäkaarre R > 0	Ulkokaarre R < 0
50 – 70	1 – 179	-7 ... -5	+5 ... +7
50 – 70	180 – 189	-6 ... -4	+4 ... +6
50 – 70	190 – 199	-5 ... -3	+3 ... +5
50 – 70	200 – 649	-4,5 ... -2,5	+2,5 ... +4,5
50 – 70	650 – 10 000	-4 ... -2	+1,5 ... +4 / -4 ... -1,5
50 – 70	> 10 000	-4 ... -2	-4 ... -2
80	1 – 359	-7 ... -5	+5 ... +7
80	360 – 389	-6 ... -4	+4 ... +6
80	390 – 419	-5 ... -3	+3 ... +5
80	420 – 1 399	-4,5 ... -2,5	+2,5 ... +4,5
80	1 400 – 10 000	-4 ... -2	+1,5 ... +4 / -4 ... -1,5
80	> 10 000	-4 ... -2	-4 ... -2
100 – 120	1 – 649	-7 ... -5	+5 ... +7
100 – 120	650 – 719	-6 ... -4	+4 ... +6
100 – 120	720 – 799	-5 ... -3	+3 ... +5
100 – 120	800 – 2 599	-4,5 ... -2,5	+2,5 ... +4,5
100 – 120	2 600 – 10 000	-4 ... -2	+1,5 ... +4 / -4 ... -1,5
100 – 120	> 10 000	-4 ... -2	-4 ... -2

PTM-mittauksen yhteydessä mitataan kohteen kaarteisuus, jonka avulla voidaan arvioida kohteen kaarresäteitä. Kaarresäde lasketaan kaarteisuudesta kaavan 1 mukaisesti. Kaarteisuuden mittaus ei ole mittausauton ajolinjoista johtuen tarkkaa, mutta sillä voidaan arvioida kaarresäteitä ja määritellä homogeeniset osuudet, kuten suorat.

Kaava 1. Kaarresäteen laskukaava kaarteisuuden arvoista.

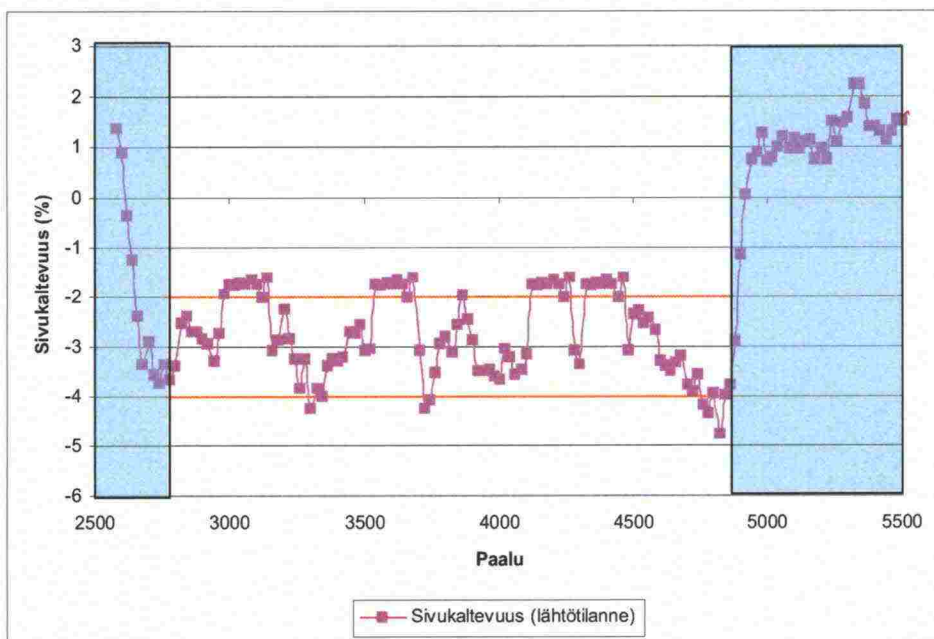
$$\text{Kaarresäde}(R) = \frac{10000}{\text{Kaarteisuus}(C)}$$

Kaltevuuden tavoitearvojen ulkopuolella rajataan risteysalueet, liittymät tai muut sellaiset tieosuudet (esimerkiksi kaltevuuden muutoskohdat), joissa kaltevuus ei muista syistä kuulu olla tavoitearvojen välissä, Osuuksilla, joissa



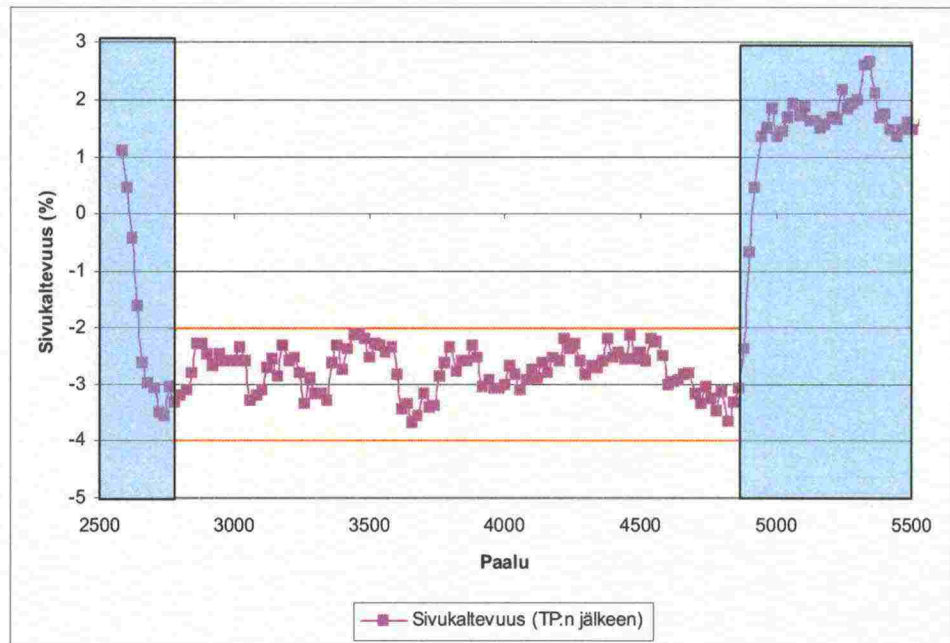
ei tavoitella sivukaltevouden parantamista, määritetään vaatimukseksi, että sivukaltevuus ei saa toimenpiteen yhteydessä heiketä lähtötilanteesta.

Kuvassa 13 on esitetty esimerkki sivukaltevuusvaatimuksen asettamisesta. Kohde on paaluvälillä 2500-5500. Sivukaltevutusta tulee parantaa paaluväleillä 2750 – 4900. Tämän välin kaarresäde on yli 10 000 m, joten sivukaltevusvaatimus on -3 %. Tällöin tavoiteltu kaltevuus on välillä -4 ... -2 %. Paaluvälillä 2500-2750 on sisäkaarteelta ulkokaarteelle siirtymisen aiheuttama kaltevouden muutoskohta ja paaluvälillä 4900-5500 on risteysalue, joten nämä osuudet rajataan pois sivukaltevouden parantamisen osalta.



Kuva 13. Esimerkkikuva sivukaltevusvaatimuksen asettamisesta sivukaltevouden lähtötilanteen mukaan. Alun kaarre ja lopun risteysalue rajattu pois sivukaltevouden parantamistavoitteista.

Toimenpiteen jälkeen uusien päällysteiden laatumittausten yhteydessä toimitettuja sivukaltevouden mittauksia verrataan asetettuihin vaatimuksiin. Kuvassa 14 on esitetty esimerkki kuvaaja tulosten tarkastelusta toimenpiteen jälkeen.



Kuva 14. Esimerkkikuva sivukaltevuuden tarkastelusta toimenpiteen jälkeen. Alun kaarre ja lopun risteysalue rajattu pois sivukaltevuuden parantamistavoitteista.

Taulukossa 10 on esitetty kuvan 14 mukaisen esimerkin aineisto paaluvälillä 2760–3300. Aineistosta tarkastellaan toimenpiteen jälkeistä sivukaltevuutta (Sivukaltevuus TP:n jälkeen). Aineistossa on myös sivukaltevuuden lähtötilanne, sekä kaarteisuus, jonka perusteella on määritelty sivukaltevuuden tavoiterajat (Tavoiteraja\_1 ja Tavoiteraja\_2), joiden väliin sivukaltevuus tulee saada toimenpiteen avulla. Aineistosta arvioidaan, onko toteutunut sivukaltevuus tavoiterajojen sisällä (Toimenpide\_OK). Sellaisia mittaustuloksia ei huomioida, joista on PTM-mittauksen yhteydessä ilmoitettu poikkeavasta mittausolosuhteesta.

Taulukko 10. Esimerkki sivukaltevuusaineiston käsittelystä toimenpiteen vaikutusten arvioimiseksi.

Aet	Let	Pituus	Kaarteisuus	Sivukaltevuus (lähtötilanne)	Sivukaltevuus (TP:n jälkeen)	Tavoite- raja_1	Tavoite- raja_2	Toimen- pide_OK
2760	2740	20	-0.1	-3.3	-3.1	-2	-4	TRUE
2780	2760	20	0.0	-3.7	-3.3	-2	-4	TRUE
2800	2780	20	0.0	-3.4	-3.2	-2	-4	TRUE
2820	2800	20	0.1	-2.5	-3.1	-2	-4	TRUE
2840	2820	20	0.1	-2.4	-2.8	-2	-4	TRUE
2860	2840	20	0.0	-2.7	-2.3	-2	-4	TRUE
2880	2860	20	-0.1	-2.7	-2.3	-2	-4	TRUE
2900	2880	20	0.0	-2.9	-2.5	-2	-4	TRUE
2920	2900	20	0.0	-3.0	-2.7	-2	-4	TRUE
2940	2920	20	0.1	-3.3	-2.5	-2	-4	TRUE
2960	2940	20	0.1	-2.8	-2.6	-2	-4	TRUE
2980	2960	20	0.0	-2.0	-2.6	-2	-4	TRUE
3000	2980	20	-0.2	-1.7	-2.6	-2	-4	TRUE
3020	3000	20	0.1	-1.8	-2.4	-2	-4	TRUE
3040	3020	20	0.2	-1.7	-2.6	-2	-4	TRUE
3060	3040	20	-0.1	-1.7	-3.3	-2	-4	TRUE
3080	3060	20	-0.1	-1.6	-3.2	-2	-4	TRUE
3100	3080	20	0.0	-1.7	-3.1	-2	-4	TRUE
3120	3100	20	-0.1	-2.0	-2.7	-2	-4	TRUE
3140	3120	20	0.0	-1.6	-2.6	-2	-4	TRUE
3160	3140	20	0.0	-3.1	-2.9	-2	-4	TRUE
3180	3160	20	0.1	-2.9	-2.3	-2	-4	TRUE
3200	3180	20	-0.1	-2.3	-2.6	-2	-4	TRUE
3220	3200	20	-0.2	-2.9	-2.5	-2	-4	TRUE
3240	3220	20	-0.1	-3.2	-2.8	-2	-4	TRUE
3260	3240	20	-0.1	-3.8	-3.3	-2	-4	TRUE
3280	3260	20	-0.1	-3.2	-2.9	-2	-4	TRUE
3300	3280	20	-0.1	-4.2	-3.2	-2	-4	TRUE
3320	3300	20	-0.1	-3.8	-3.2	-2	-4	TRUE

Sivukaltevuustunnusluvun mukaisia mittauksia testattiin Turun tiepiirin koh-  
teella, jossa sivukaltevuutta pyrittiin parantamaan. Kohteen sivukaltevuus-  
analyysit on esitetty liitteessä 1.



## 5 SUOSITUKSET

### 5.1 Suositukset sivukaltevuuden mittaamiselle

Sivukaltevuuden hankekohtaisen tarkastelun yhtenäistämiseksi suositellaan kaikissa päätieverkon hankkeissa käytettävän sivukaltevuuden mittauksen tulostamiseen 20 metrin välein keskiarvoistettua regressiosivukaltevuutta (PANK-5209 menetelmäkortin mukainen), jos päällystystyön yhteydessä pyritään parantamaan sivukaltevuutta ilman rakenteenparantamista.

Sivukaltevuuden mittaaminen tulee suorittaa mittausorganisaatiolla, jolla on voimassaoleva PANK-hyväksyntä asfalttipäällysteen laatumittauksille PTM-autolla. PANK-hyväksyntä edellyttää vuosittaisia laadunseurantatestejä, joiden perusteella mittausorganisaatioiden mittaustarkkuus ja vertailtavuus toisiin mittausorganisaatioihin tunnetaan. Näin varmistetaan, että sivukaltevuusmittausten laatu on vaadittavaa tasoa.

Sivukaltevuuden mittaamisen yhteydessä voidaan mitata PTM-autolla 20m jaksojen kaarteisuuden keskiarvo. Kaarteisuutta voidaan hyödyntää kaarresäteen arvioimiseen, mutta sen mittaustarkkuus ei ole riittävän luotettava kaarresäteen tarkkaan määrittämiseen.

### 5.2 Suositukset sivukaltevuustunnusluvun käytölle

Raportissa esitettyä sivukaltevuustunnuslukua suositellaan käytettäväksi valta- ja kantatietasoisilla teillä, joilla koko ajoradan käsittelyn yhteydessä halutaan parantaa sivukaltevuutta päällystystyön yhteydessä.

Sivukaltevuustunnusluku ja bonusten käyttö sopii parhaiten sellaisille kohteille, joissa toimenpiteen yhteydessä voidaan hyödyntää vanhaa päällystettyä poikkiprofiiliin korjaamisessa. Näitä ovat esimerkiksi MPKJ- tai TASK-työmenetelmät. Tällöin sivukaltevuuden parantamisesta maksetaan palveluntuottajalle bonusta. Bonusperusteet asetetaan hankekohtaisesti.

Sivukaltevuustunnusluvun pilotoinnin yhteydessä tulee määritellä perusteet bonusten maksuperusteille. Bonuksia määritellessä tulee huomioida työmenetelmä ja sivukaltevuuden parantamiseen vaadittava lisämäärä. Kun tilaaja määrittelee työmenetelmän ja käytettävän massamäärän, tulee palveluntuottajan kannuste olla suurempi hankkeissa, jossa sivukaltevuuden parantaminen tavoitellulle tasolle ei nosta merkittävästi palvelun tilaajan kustannuksia tavanomaisesta ylläpidon toimenpiteestä.

Sivukaltevuustunnusluvun ohjeellisten sivukaltevuuden tavoitearvojen avulla ei voida tarkastella verkkotasolla sivukaltevuuksia ja sivukaltevuuspuutteita. Sellaiset osuudet, joilla sallitaan poikkeava sivukaltevuus (esim. risteysalue), ei voida ilman maastotarkastelua rajata pois tavoitekaltevuusosuuksista. Sivukaltevuustunnusluvun hyödyntäminen vaatii aina kohteen tuntemista.



## 6 LÄHDELUETTELO

- /1/ Päälysteiden ylläpidon toimintalinjat. Helsinki 2006. Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut. ISBN 978-951-803-793-7, TIEH 1000138-06
- /2/ RIL165-2 Liikenne ja väylät II. Helsinki 1988. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. ISBN 951-758-150-5
- /3/ PANK-5209 Menetelmäkortti, Sivukalveuus, Regressiomalli, PTM-auto
- /4/ Granlund, Johan (2008). Health Issues Raised by Poorly Maintained Road Networks. ROADDEX III Project.
- /5/ Järvinen, Seppo & Mika Vehmas. Helsinki 2005. Ura- ja sivukalveuustunnusluvun määrittäminen kuntovastuu-urakkaan. Tiehallinto, asiantuntijapalvelut. ISBN 951-803-543-1. TIEH 3200952.

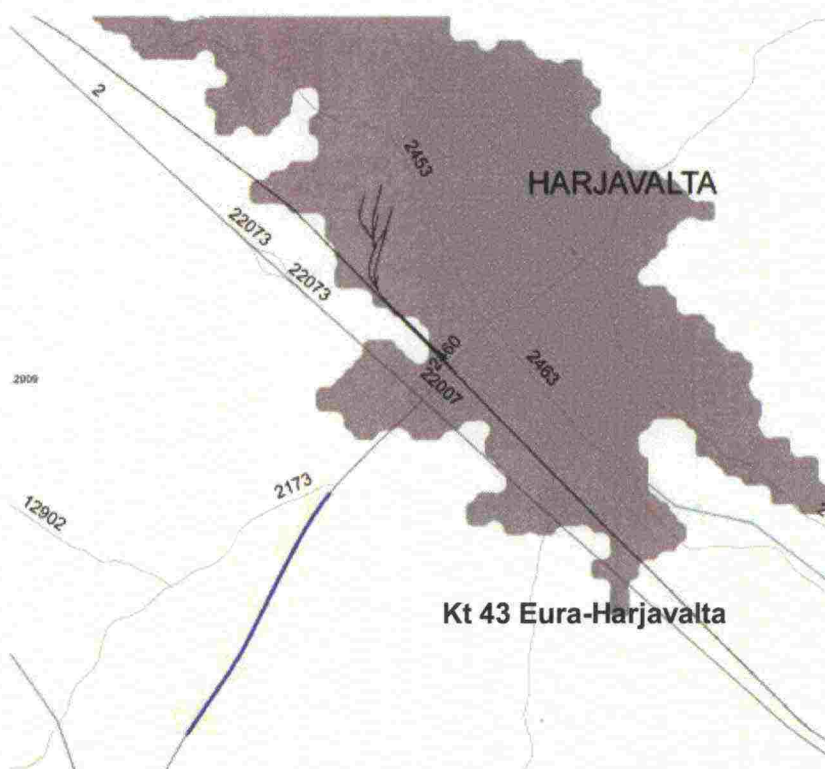
## 7 LIITTEET

Liite 1 Sivukalveuuden parantaminen. Case kt. 43 Eura-  
Harjavalta

## SIVUKALTEVUUDEN PARANTAMINEN. CASE KT. 43 EURA-HARJAVALTA

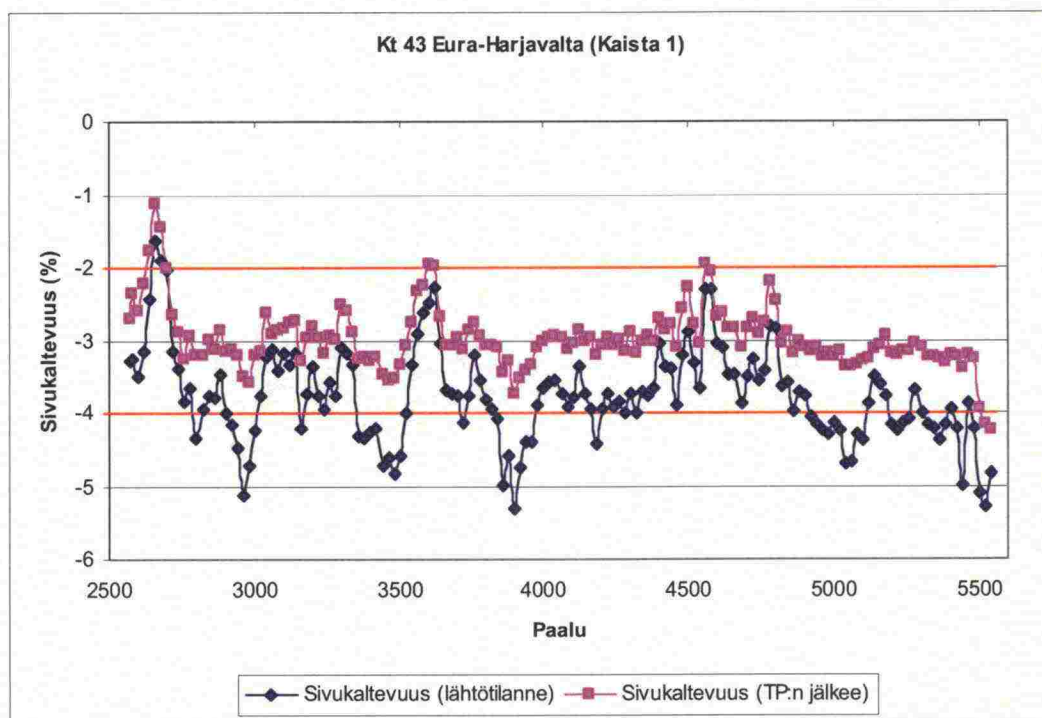
### Kohteen sivukaltevuusanalyysit

Turun tiepiirin päällystyskohteen Kt 43 15/2571 – 15/5555 "Eura-Harjavalta" sivukaltevuusanalyysi. Kohteella oli tavoitteena parantaa päällystystyön yhteydessä sivukaltevuutta. Työmenetelmänä oli urakoitsijan määrittämä MPKJ 100 kg. Kohteen sivukaltevuus mitattiin ennen päällystystyötä ja päällystämisen jälkeen. Sivukaltevuustunnuslukuna käytettiin 20 m välein keskiarvoistettua regressiosivukaltevuutta. Mittaus suoritettiin tien molemmilta kaistoilta PTM-autolla. Kuvassa 1 on esitettyä päällystyskohde kartalla. Mitaukset suoritti Andament Oy.

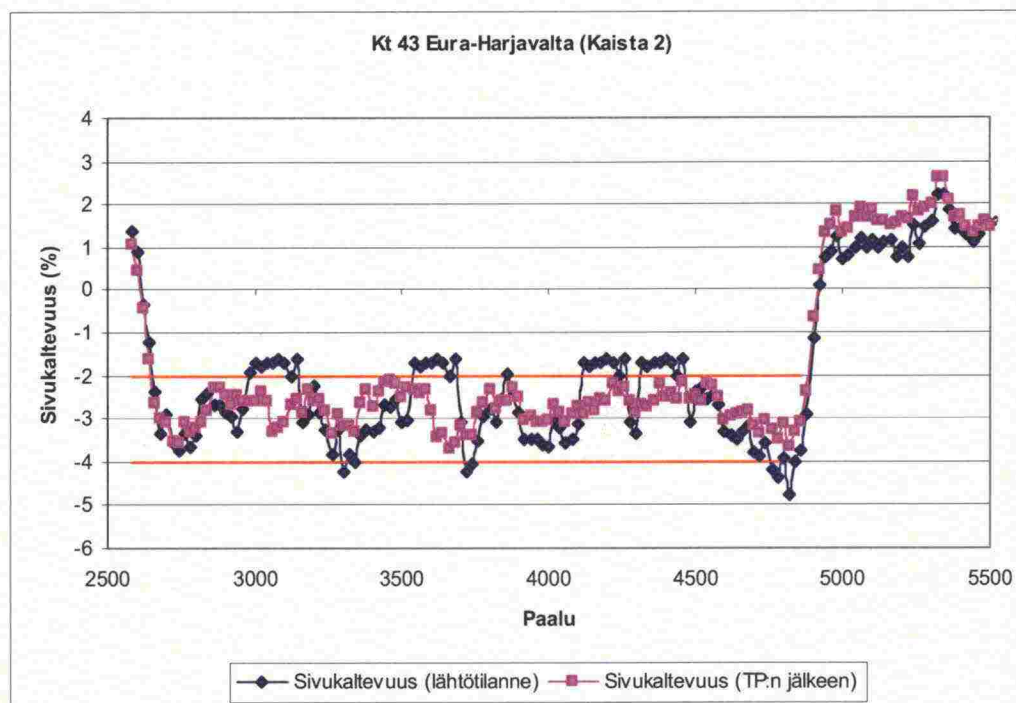


Kuva 1. Kohde Kt 43 Eura-Harjavalta (sinisellä värjätty tieosuus).

Kohteen kaarresäteet ovat jokaisella 20m jaksolla yli 10 000, joten kohteen vaakageometria on käytännössä suora. Lisäksi tierekisterin mukainen nopeusrajoitus on 100 km/h. Tällöin kohteen tavoitesivukaltevuus on -2 ... -4. Kohteen sivukaltevuuden pituusprofiilit kaistoittain on esitettyä kuvissa 2 ja 3.



Kuva 2. Kt 43 Eura-Harjavalta kohteen sivukaltevuusprofiili kaistalta 1 paaluväleiltä 2547-5575. Kuvassa on mitattu sivukaltevuus ennen toimenpidettä ja toimenpiteen jälkeen.

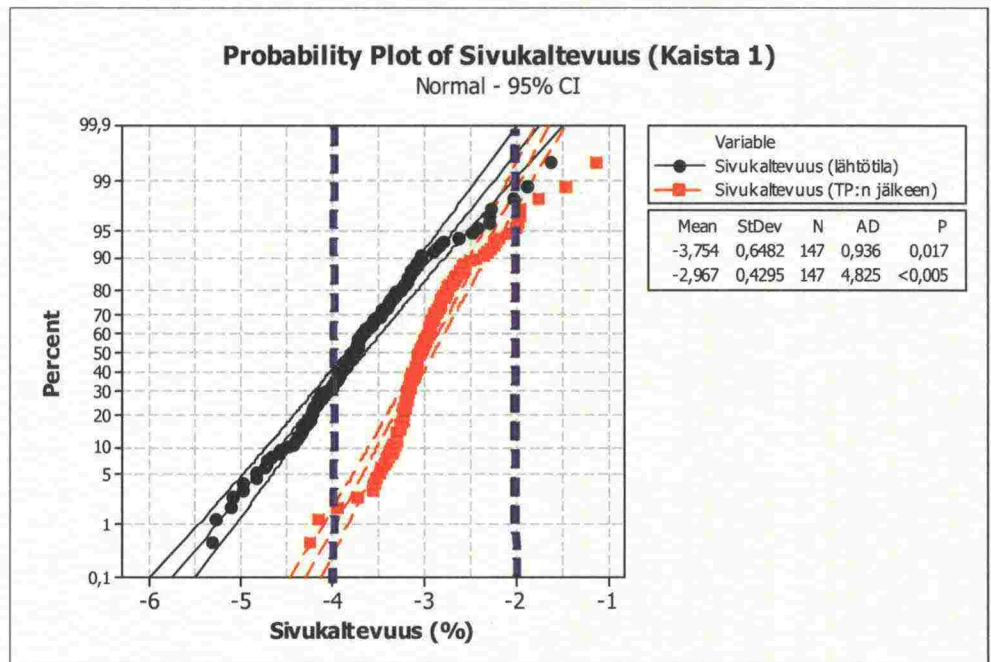


Kuva 3. Kt 43 Eura-Harjavalta kohteen sivukaltevuusprofiili kaistalta 2 paaluväleiltä 2547-5575. Kuvassa on mitattu sivukaltevuus ennen toimenpidettä ja toimenpiteen jälkeen.

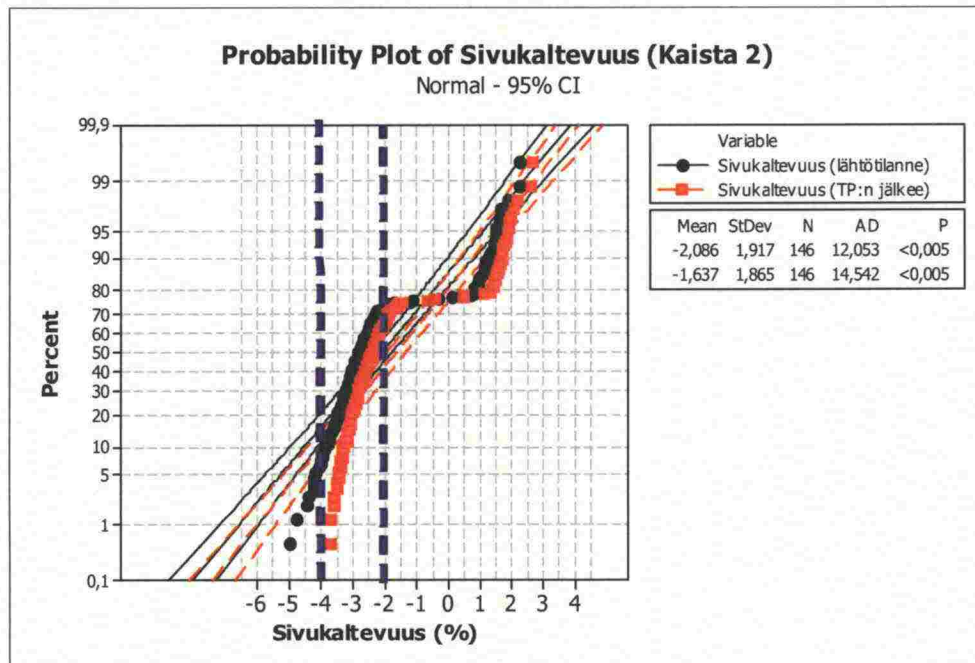


Kuvasta 2 voidaan havaita, että kohteen lähtötilanteessa kaistalla 1 sivukaltevuus on tavoitearvoihin nähden ylijyrkkä. Lisäksi sivukaltevuuden hajonta on melko suuri. Toimenpiteellä on pystytty hyvin poistamaan ylisuuret sivukaltevuudet, jotka mitä todennäköisimmin ovat reunapainumaa. Lisäksi sivukaltevuuden hajontaa on pystytty merkittävästi vähentämään. Vastaavan ilmiön voi havaita kuvan 4 hajontakuva.

Kuvassa 3 esitetyssä kaistan 2 sivukaltevuusprofiilissa lähtötilanne on huomattavasti paremmin tavoitesivukaltevuuden rajojen sisällä kuin kaistalla 1. Kohteen loppupuoella on sivukaltevuuden muutoskohta ja ajosuuntaan oikealle kallistuva sivukaltevuus, joka todennäköisesti johtuu kohteen jälkeen olevasta tien 43 ja 2173 liittymästä. Kuvan 5 kaistan 2 hajontakuvastä nähdään, että sivukaltevuuden hajontaa on pystytty pienentämään. Lisäksi paa-luvälillä 5000-5500 on pystytty hieman jyrkentämään muutoskohdan jälkeistä sivukaltevuutta.



Kuva 4. Kt 43 Eura-Harjavalta kaista 1 hajontakuva. Otoksesta on poistettu ne havainnot, joista PTM-mittauksessa oli huomautus poikkeavasta mit-tausolosuhteesta.



Kuva 5. Kt 43 Eura-Harjavalta kaista 2 hajontakuva. Otoksesta on poistettu ne havainnot, joista PTM-mittauksessa oli huomautus poikkeavasta mittausolosuhteesta.

### Johtopäätökset

Analyysin perusteella näyttäisi siltä, että:

- Sivukaltevuuden parantaminen on onnistunut hyvin päällystystyön yhteydessä
- Sivukaltevuutta on pystytty suurimmillaan muuttamaan 1,6 %-yksikköä.
- Sivukaltevuustunnusluku on havainnollinen tapa esittää sivukaltevuuden lähtötilanne ja toteuma
- Analyysissä tulee huomioida tien muut ominaisuudet (liittymät, risteysalueet, jne)

ISSN 1459-1553  
ISBN 978-952-221-282-5  
TIEH 3201148-v